

Einfluss von Boden-pH und Bodenstruktur auf die Lachgasbildung und Denitrifikation landwirtschaftlicher Böden

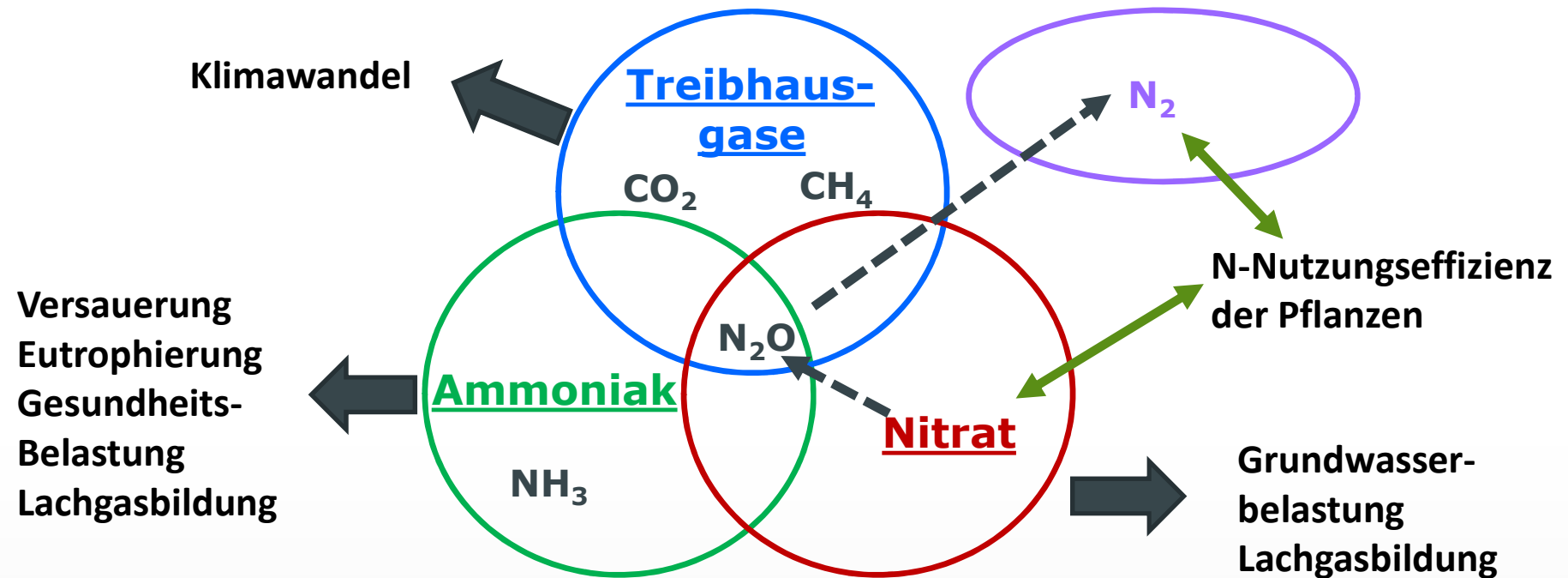
Reinhard Well

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig



DÜNGEKALK-TAGUNG, Fulda 27.3.2023

Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen aus der Landwirtschaft



Bedeutung der
Landwirtschaft

Ziele
Handlungsbedarf

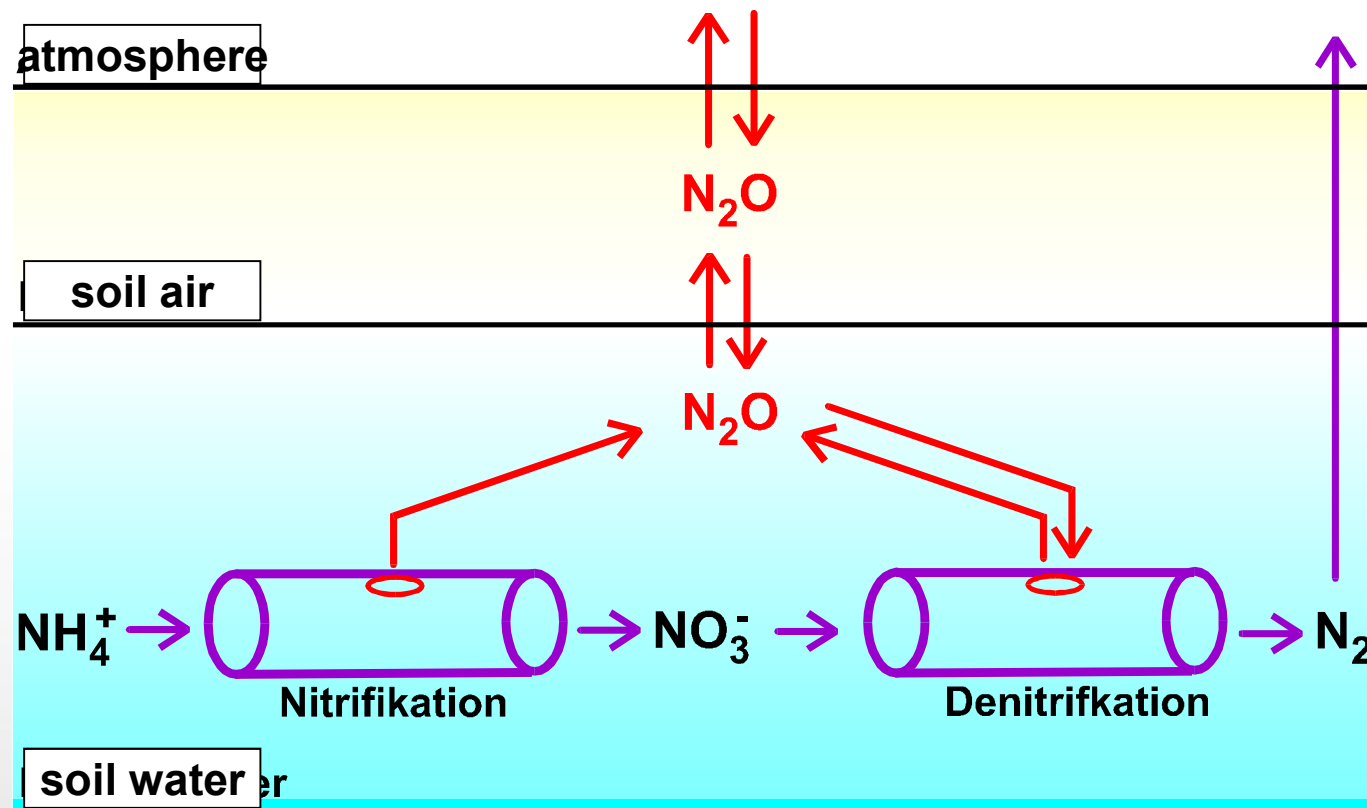
Minderungs-
optionen

Strategie für die Minderung von Lachgas und Ammoniakemissionen der Bodennutzung

1. Identifizierung potentieller Managementmaßnahmen nach und des weiteren Forschungsbedarfs
2. Weiterentwicklung und Etablierung von Untersuchungsmethoden
3. Prüfung potentieller Maßnahmen mit vorhandenen Modellen sowie anhand von Experimenten auf Feld- und Laborskala
4. Verbesserung der Modelle anhand vorhandener und neuer Daten
5. Entwicklung von Managementstrategien durch integrierte Modellierung (verbesserte Emissionsmodelle, Ertrag, NUE, Ökonomie)

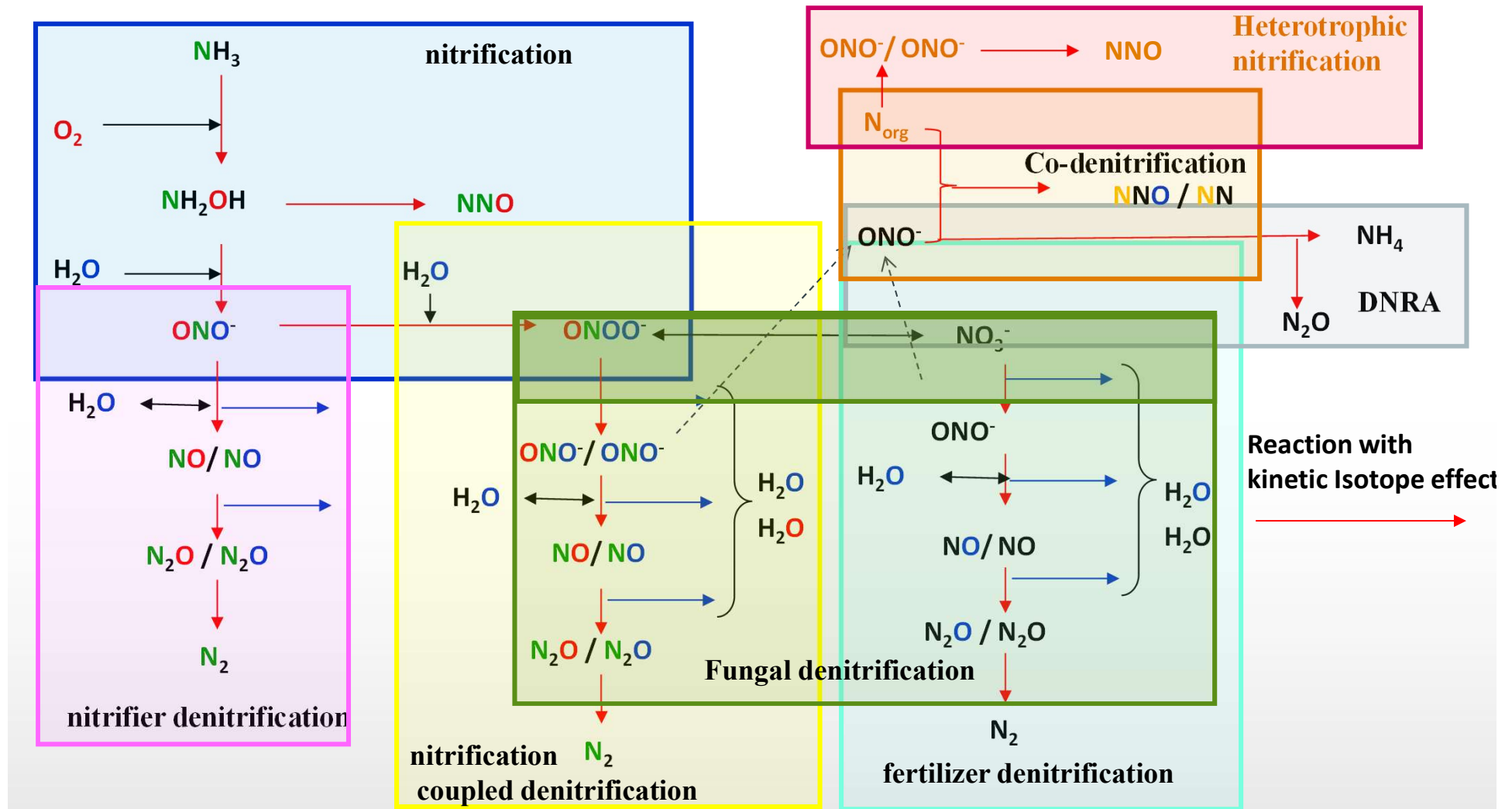
Process types of N₂O formation in soils

- N₂O emissions from soils originate from nitrification and denitrification processes



Davidson et al., 1991

Reactions and elemental flows of microbial N_2O processes



Name des Wissenschaftlers (adapted from Wrage et al., 2005, modified)

Regulation of denitrification

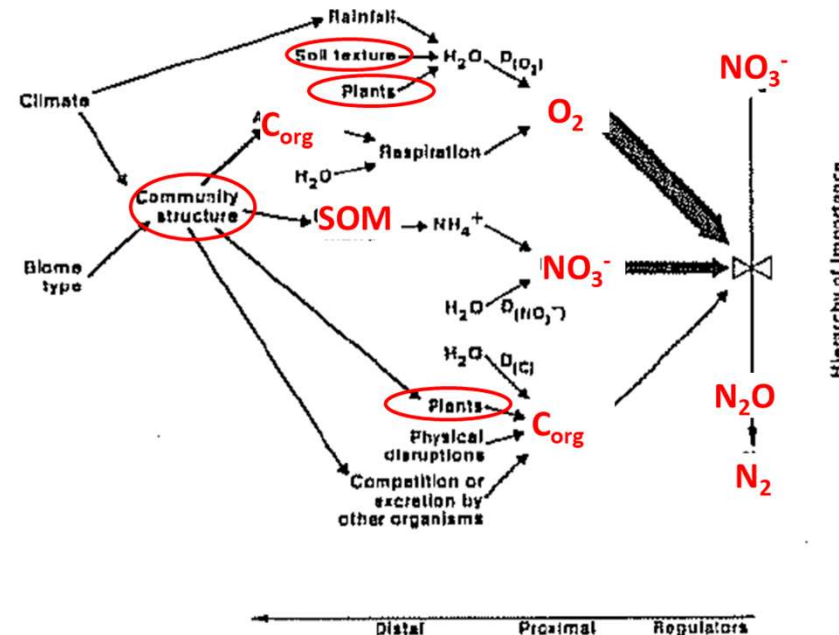


Fig. 1: Relationships between proximal and distal controlling factors of denitrification (Adapted from Tiedje 1987).

Groffman et al., 2008

- Process dynamics implemented in various denitrification models, only N₂O fluxes validated but NOT N₂

How to investigate N₂O pathways?

“Stable isotope techniques have a crucial role to play in the **attribution of N₂O emissions to different microbial processes**, through **estimation (natural abundance, site preference)** or **quantification (enrichment)** of processes ...

... it is essential that **as many of the contributing processes as possible** are considered in any study aimed at source attribution, as **mitigation strategies for one process may not be appropriate for another.**”

E.M. Baggs, RCM 2008; 22: 1664-1672

Quantification of N processes using stable isotopes

IRMS instrumentation



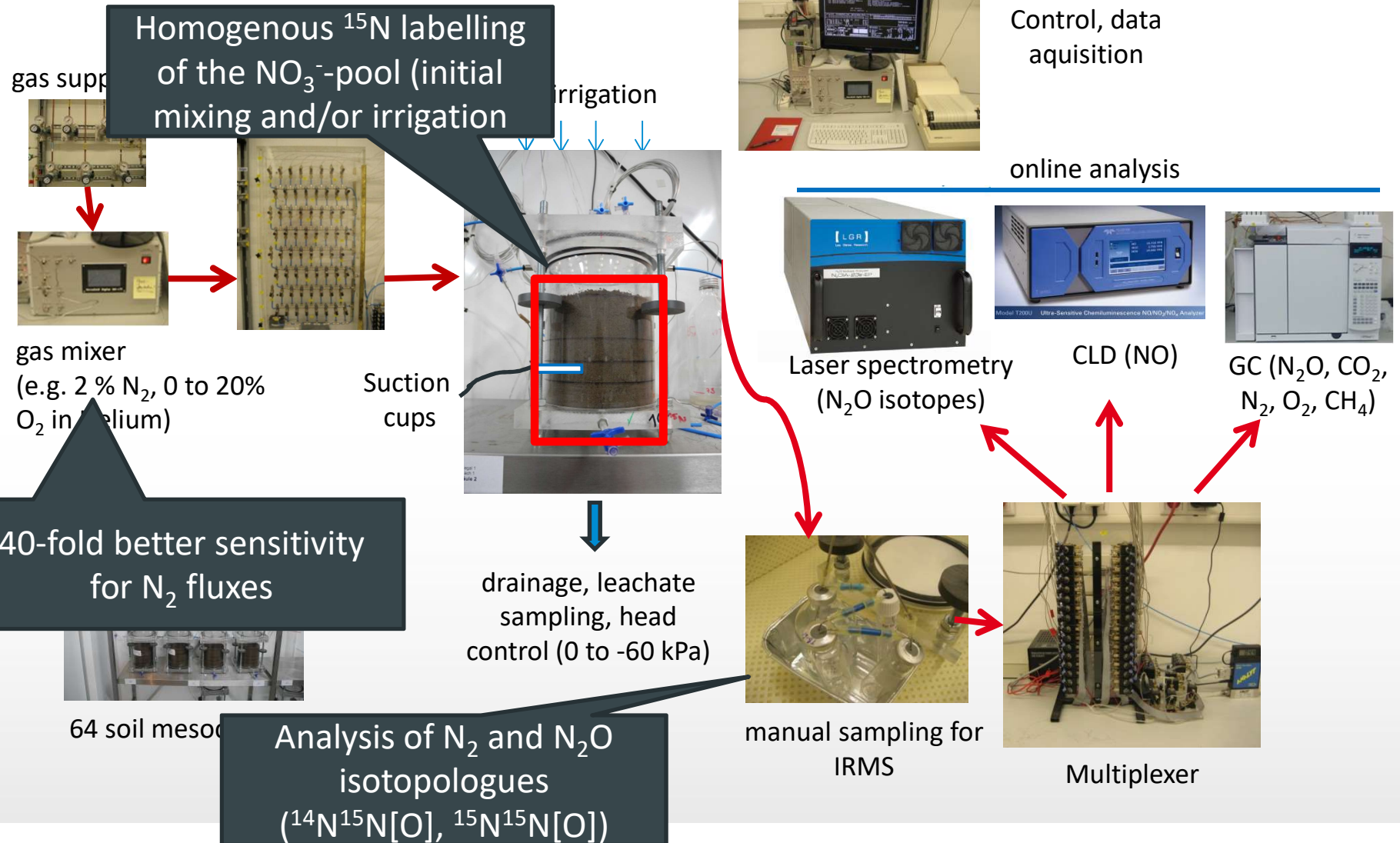
MAT 253 with gas bench =>
CO₂, N₂



DeltaV with EA, GC-Isolink
and Precon => currently
mainly N₂O isotopes from lab
and field studies

**Combined application of
natural abundance stable isotopes
and
¹⁵N tracing methods
to quantify N₂O turnover processes
in agricultural soils
in lab and field studies**

Task 1: Automated Mesocosm Incubation System



Name des Wissenschaftlers

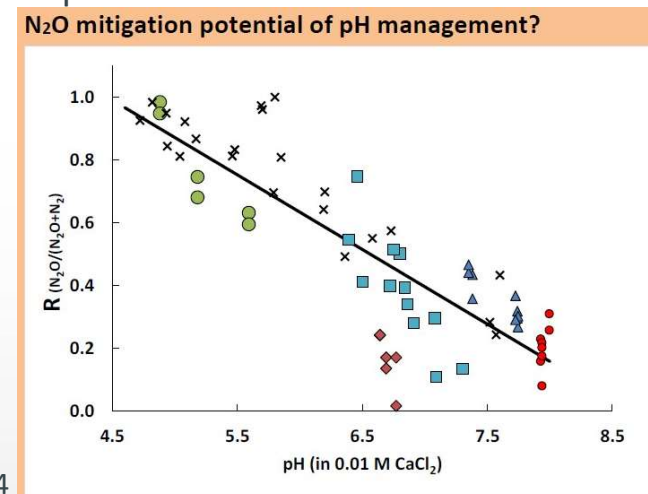
Boden-pH und Denitrifikation

- Boden-pH beeinflusst Prozesse der N_2O -Bildung und -Reduktion in Böden
- **Denitrifikation:** $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$
 - Enzymexpression der N_2O -Reduktase bei niedrigem pH gehemmt
- Interaktion zwischen pH und N_2O -Emissionen: bisher nur Flüssigkulturexperimente
- **$\text{N}_2\text{O}/(\text{N}_2\text{O}+\text{N}_2)$ ratio of denitrification**
 - pH niedrig $\rightarrow$ ratio hoch $\rightarrow \text{N}_2\text{O} > \text{N}_2$
 - pH hoch $\rightarrow$ ratio niedrig $\rightarrow \text{N}_2 > \text{N}_2\text{O}$
 $\rightarrow$ vollständige Reduktion zu N_2

➤ Untersuchung der pH/Kalkungseffekte in Bodeninkubationen

➤ **Projekt: MAGGE-pH**

Qu et al., 2014



Projekt Magge-pH

Hintergrund und Zielsetzung

Das ERA-GAS Projekt MAGGE-pH untersuchte den Einfluss des Boden-pH auf das Verhältnis von Lachgasbildung und -abbau. Laborstudien haben gezeigt, dass eine pH-Wert-Erhöhung den mikrobiell bedingten Umbau von Lachgas zu atmosphärischem Stickstoff (N_2) befördert. In der Folge ergäben sich niedrigere Lachgasemissionen. Dies sollte für Böden in Nord- und Zentraleuropa sowie Neuseeland über kombinierte Laborstudien, Feldexperimente und Modellsimulationen erforscht werden.

Laborexperiment in Magge-pH

(Pfülb et al. 2023 in Vorbereitung)

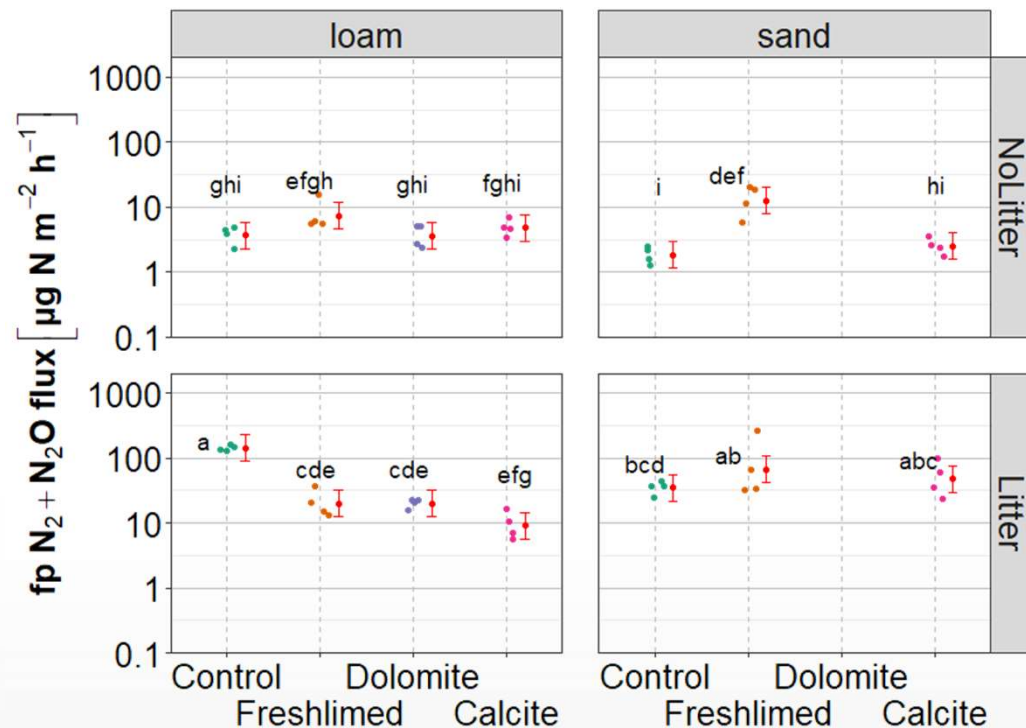
Ziele

Untersuchung und Quantifizierung des Einflusses von Kalkung auf die Denitrifikation und das $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2+\text{N}_2\text{O}$ Verhältnis unter kontrollierten dynamischen Bedingungen unter Verwendung der ^{15}N -Gasflussmethode

Hypothesen

- (1) Gesamtdenitrifikation steigt durch Kalkung (aufgrund erhöhter Mineralisation und günstigeren Bedingungen für denitrifizierende Mikroorganismen)
- (2) $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2+\text{N}_2\text{O}$ -Verhältnis sinkt mit steigendem pH
- (3) Positiver Effekt von pH-Management auf N_2O -Emissionen ist abhängig von der Gesamtdenitrifikation

Denitrifikationsraten (N_2+N_2O -Emission) von Kalkungsvarianten im dynamischen Laborversuch (Pfülb et al. 2023 in Vorbereitung)



=> Stark erhöhte Denitrifikation im ungekalkten Lehm Boden, vermutlich schlechtere Bodenstruktur

Log-transformed total cumulative N_2+N_2O fluxes of liming treatments per soil and litter treatment on log-transformed y-scale. Red dots indicate estimated marginal means with confidence intervals as error bars. Different letters represent significant differences between treatments.

N₂+N₂O fluxes of freshly limed and long-term un-limed loamy soil fertilizes with nitrate only or ammonium nitrate

Treatment	N₂+N₂O flux
	µg N / m ² / h
Unlimed, NO₃⁻, without litter	3.2 ± 1.4
Unlimed, NO₃⁻, with litter	53.4 ± 5.2
Freshly limed, NO₃⁻, without litter	2.8 ± 0.6
Freshly limed, NO₃⁻, with litter	63.7 ± 9.7
Unlimed, NH₄⁺, without litter	43.6 ± 6.3
Unlimed, NH₄⁺, with litter	340 ± 274.3
Freshly limed, NH₄⁺, without litter	27.4 ± 19
Freshly limed, NH₄⁺, with litter	111.9 ± 88.3

- ⇒ erhöhte Denitrifikation im ungekalkten Lehm Boden bestätigt
- ⇒ Ammoniumdüngung verstärkt Denitrifikation durch O₂-Verbrauch der Nitrifikation

Kalkung und Bodenstruktur – Aggregatstabilität

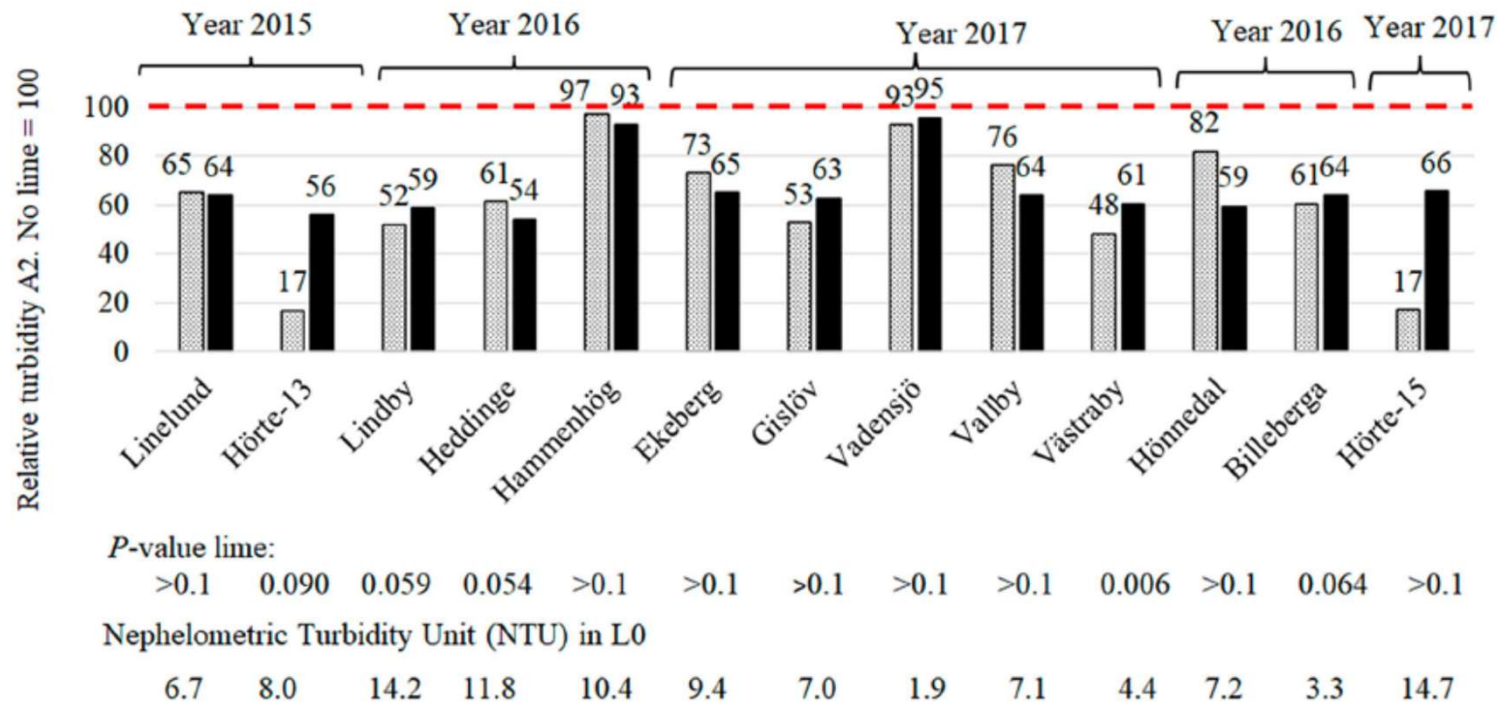
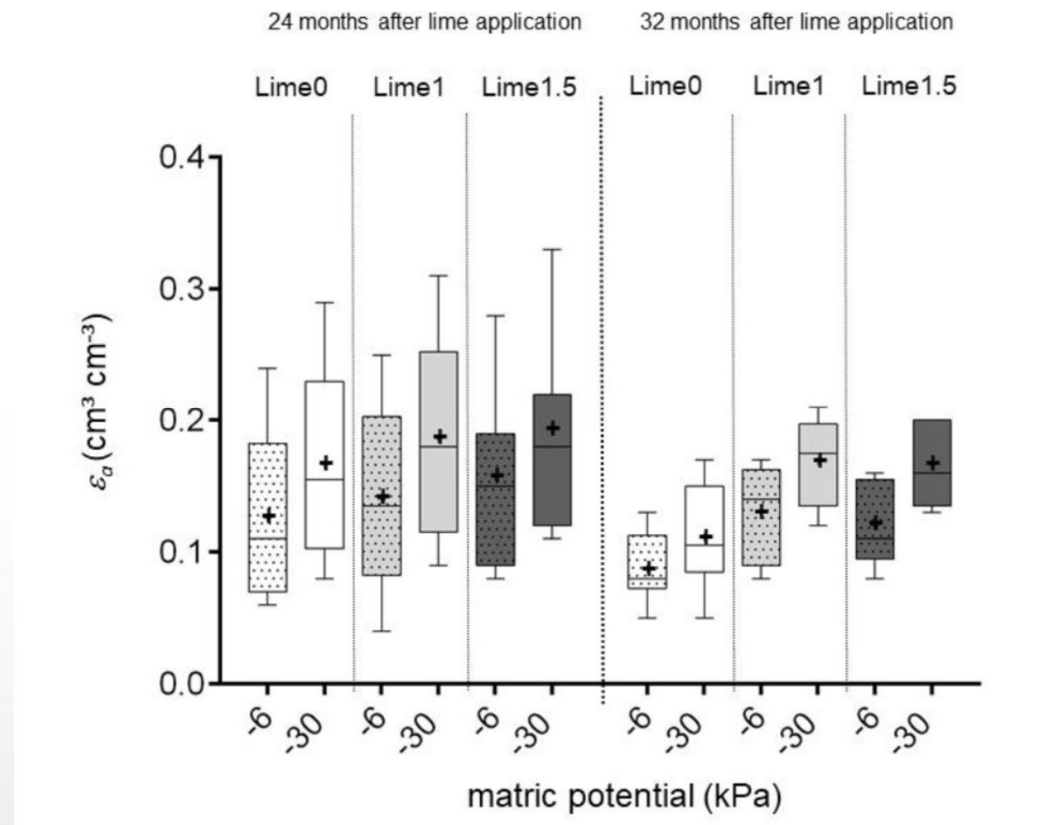


Figure 1. Aggregate stability (approximated as turbidity) at the different experimental locations (n = 13).

Anita Gunnarsson, Jens Blomquist, Lars Persson, Åsa Olsson, Karin Hamnér
& Kerstin Berglund (2022) Liming alkaline clay soils: effects on soil structure, nutrients,
barley growth and yield,
803-817, DOI: 10.1080/09064710.2022.2089590

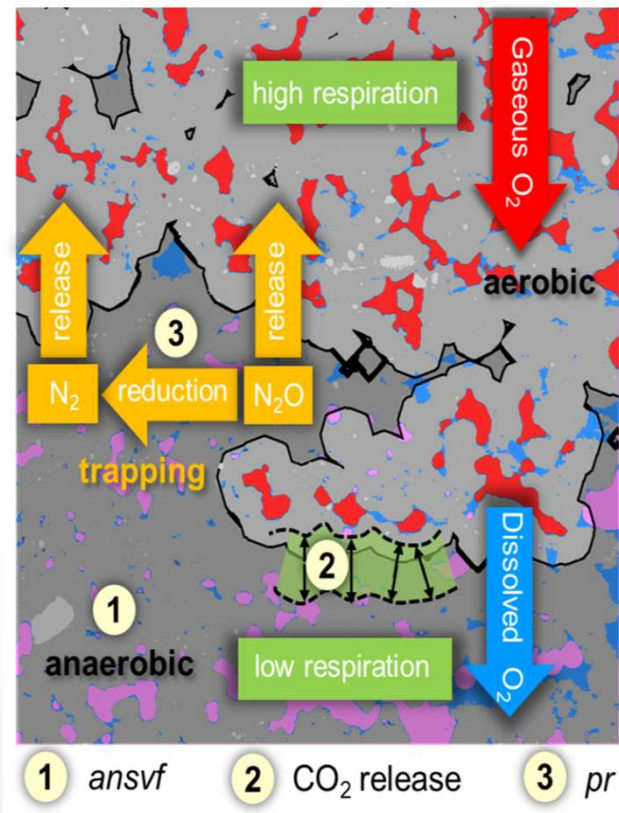
Kalkung und Bodenstruktur – Luftporenvolumen in einem Marschboden

Air-filled porosity (ε_a in $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) at matric potentials of -6 kPa and -30 kPa for the different lime



Tina Frank, Iris Zimmermann, Rainer Horn (2020) **Lime application in marshlands of Northern Germany – Influence of liming on the physicochemical and hydraulic properties of clayey soils**
Soil and Tillage Research, Volume 204

Bodenstruktur, Wasser- und C_{org}-Verteilung als Voraussetzung für anaerobe Mikrobereiche



Conceptual scheme of oxygen (O₂) supply and demand and its effect on denitrification

- N gas emissions could only be predicted well when explanatory variables for O₂ demand and O₂ supply were considered jointly.
- Combining CO₂ emission and anaerobic soil volume fraction as proxies for O₂ demand and supply resulted in 83% explained variability in (N₂O+N₂) emissions

Rohe et al 2021: Denitrification in soil as a function of oxygen availability at the microscale (Biogeosciences, <https://doi.org/10.5194/bg-18-1185-2021>)

⇒ Anaerobe Mikrobereiche im Boden entstehen durch Zusammenwirken von Porenraumstruktur und Wasserverteilung (=> Gasdiffusivität) mit der Lokalität und Intensität der Respiration durch labilen Corg

Schlussfolgerungen

- Die Minderung der N_2O -Emission aus Ackerböden durch Kalkung infolge verstärkter N_2O -Reduktion zu N_2 wurde durch unsere Laborversuche bestätigt.
- In versauerten Lehmböden kann erhöhte Denitrifikation auftreten, vermutlich durch geringeres Luftporenvolumen und somit schlechtere Durchlüftung bei fehlender Kalkung.
- Dieser Effekt ist offenbar besonders relevant wenn weitere Faktoren anoxische Bedingungen begünstigen, z.B. erhöhter O_2 -Verbrauch durch Nitrifikation und Streueinarbeitung.
- Weitere Studie sind erforderlich um eine Verallgemeinerung dieser Effekte über Modelle zu ermöglichen.

Forschungsstrategie um Interaktion von Kalkung, Porenraumstruktur und N-Transformationen aufzuklären und zu modellieren

- Ermittlung der kalkungsbedingten Auswirkungen der Bodenstruktur auf die Nitrifikations-Denitrifikations-Dynamik in Ackerböden unterschiedlicher Textur in Wechselwirkung mit der Einarbeitung von Pflanzenresten und der Ammoniumoxidation unter kontrollierten physikalischen und chemischen Bedingungen.
- Bestimmung der Auswirkungen der Kalkung auf die Nitrifikations-Denitrifikations-Dynamik in Phasen mit und ohne Vegetation während der Anbausaison unter Freiluftbedingungen.
- Identifizierung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsoptionen zur Minimierung von Denitrifikation und N_2O -Flüssen
- Ableitung von Modellfunktionen, die geeignet sind, die durch Kalkung induzierte Bodenstruktur in Interaktion mit dem O_2 -Verbrauch in biogeochemischen Modellen zu berücksichtigen

Vielen Dank an alle Beteiligten im Projekt MAGGE-pH
und für die Förderung durch FACCE ERA-GAS

